

補助事業番号 28-148
補助事業名 平成28年度 粒子・格子連成スキームによる沿岸構造物災害影響評価
補助事業
補助事業者名 名古屋大学情報基盤センター 准教授 荻野 正雄

1 研究の概要

流体である津波と沿岸構造物の相互作用を考慮するために、粒子型解法と格子型解法の連成スキームを開発した。特に、新たに開発したInterface Marker技法とダミーメッシュ技法によって、粒子法と格子法という異なる空間離散化手法の連成計算を効率化することに成功している。弾性障壁付き水柱崩壊問題によって十分な計算精度が得られることを示し、津波など流体からの動的荷重を受ける構造物の健全性評価に利用可能であることを明らかにした。さらに、開発システムを名古屋大学設置のスーパーコンピュータFX100に移植し、大規模計算が実用時間内に可能であることを明らかにした。

2 研究の目的と背景

沿岸地域には原子力施設などの発電プラント、高規格道路や鉄道関連など重要だが経年劣化した社会インフラが多く、大規模な自然災害の影響を可能な限り正確に見積もることが、国民の生命・財産を守るために重要である。しかし、そのような大規模構造物に対しては、津波等の自然現象を考慮した実大試験は事実上不可能であり、計算機シミュレーションによる仮想実験によって有用な情報を得ることが強く望まれている。

そこで本研究は、流体である津波と沿岸構造物の相互作用を考慮するために粒子・格子連成スキームを開発し、地震等を起因とする津波が沿岸構造物に及ぼす影響評価を実施できる仮想実験システムの構築を目的とした。これにより、沿岸構造物の津波災害影響評価が可能となる、防災・減災対策実施に大きく貢献することを目指した。

3 研究内容

<http://www.hpc.itc.nagoya-u.ac.jp/ogino/jka/>

(1) MPS法による流体解析システムの構築

津波の数値シミュレーションシステムとして、粒子型解法による流体解析システムの構築を行った。粒子型解法としてMPS (Moving Particle Simulation) 陽解法を採用するオープンソースソフトウェアLexADV_EMPSを文部科学省が整備する革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (名古屋大学FX100システム) に移植し、MPS陽解法について計算機への実装最適化を行ったことで、効率的な大規模流体解析システムの開発に

成功した。これより、スーパーコンピュータFX100システムを用いた数値実験により、1千台並列計算においても90%以上の高い並列効率を得ることに成功（図1）するなどの成果が得られた。

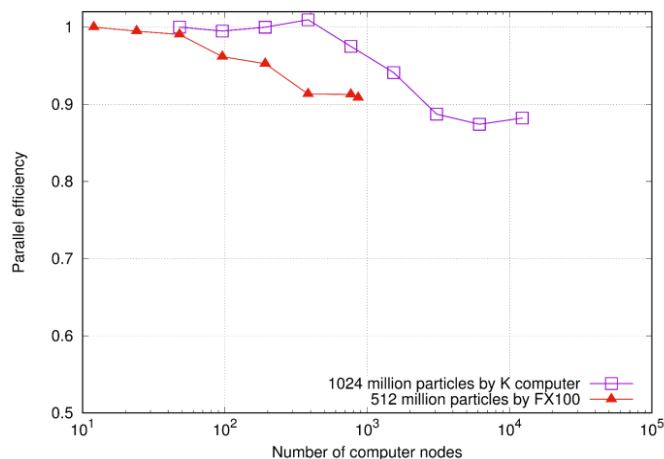


図1 MPS陽解法による名古屋大学FX100システムの強スケーリング性能.
(1千台並列計算時においても90%以上の高い並列効率を示している)

(2) FEMによる構造解析システムの構築

構造物の応力解析を行うために、FEM (Finite Element Method) による構造解析システムとして、無償利用可能なオープンソースソフトウェアADVENTURE (研究代表者が開発者の一人) と有償の市販ソフトウェアABAQUSの2つを用いたシステム構築を行った。これらは、前者が計算速度に優れ、後者が鉄筋コンクリート材の損傷解析など解析機能に優れているなどの違いを持つ。開発システムによる仮想実験では、津波発生から定性的な被害予測をいち早く行いたい場合や事前に高精度な予測を行いたい場合など様々な目的があることが考えられ、さらにシステム利用者の予算規模などの要因もあるため、利用目的が異なるソフトウェアを切り替え可能なシステムとして構築を行った。

(3) 粒子-格子連成スキームの開発

動的津波荷重を受ける沿岸構造物の応力解析を行うために、粒子-格子連成スキームの開発を行った。特に、流体構造境界面に流体解析に影響しないInterface Markerを配置し、粒子型解法の中で物理量の評価を行う技術を開発した (図2)。Interface MarkerをFEMの境界上格子点と同じ位置にすることで、補間計算が不要となり、計算時間の短縮並びにデータ受け渡しの効率化が期待できる。

津波と構造物の相互作用を考慮する方法として、逐次時差解法による弱連成解析を採用した。この場合、粒子型解法による津波解析と格子型解法による構造解析に加えて、両者を結合するカップラーが必要となる。カップラーとしては無償利用可能なオープンソースソフトウェアREVOCAP_Couplerを用いた。REVOCAP_Couplerは格子型解法同士を結合する目的で開発されたものであるため、粒子型解法と格子型解法を結合する方法として、粒子法側にダミーメッシュ情報を付与する技術を開発した (図3)。

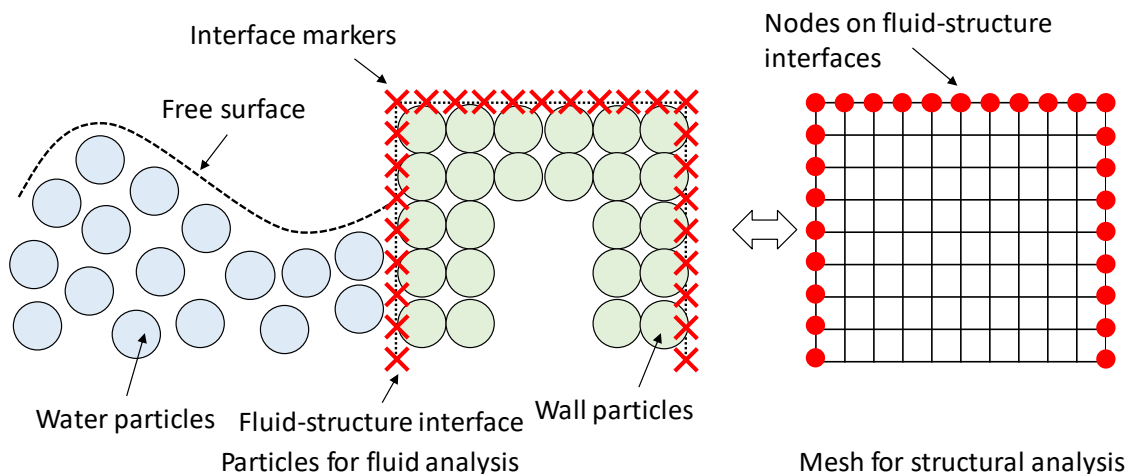


図2 Interface Marker技術による粒子型解法と格子型解法の連成界面の取り扱い

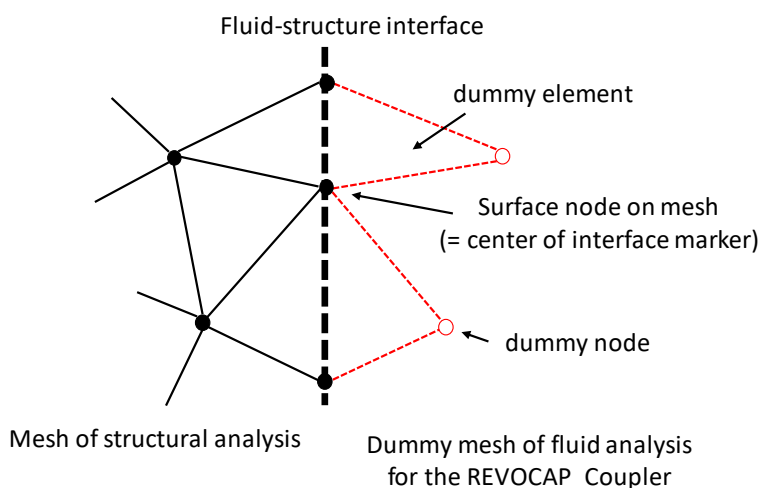


図3 ダミーメッシュ技術

(4) 流体構造連成解析システムの構築

項目(1)～(3)の成果を活用し、流体構造連成解析システムの構築を行った。具体的に、粒子型解法のソフトウェアとしては研究協力者である九州大学構造解析学研究室による自作コード、格子型解法には研究代表者が開発者の1人であるADVENTURE、カプラーとしてはREVOCAP_Couplerをそれぞれ用いた。開発システムの開発及び保守管理コストをソフトウェア規模の指標であるLOC (Lines Of Code) で評価したところ、元が数万行という規模であるソフトウェアに対して、わずか数百行の追加となっており、今後も継続的な開発・保守が可能であることを示した。

(5) 開発システムの品質評価

開発システムの品質評価として、弾性障壁付き水柱崩壊問題 (Walhornらが2015年に発表)

において、弾性壁上部における変位の時刻歴を文献値と比較した例を図4に示す。

また、計算時間を短縮するために、REVOCAP_Couplerへのサブサイクル法組み込みを行った。サブサイクル法の有無が計算結果に与える影響の評価結果を図5に示す。これより、計算結果に大きな影響を与えることなく、計算時間を3倍高速化することに成功した。

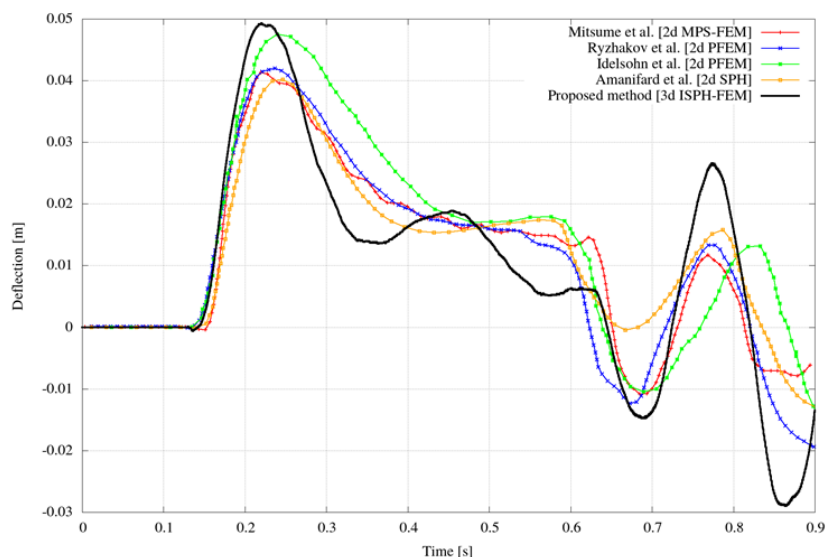


図4 弾性障壁付き水柱崩壊問題における既往研究との結果比較

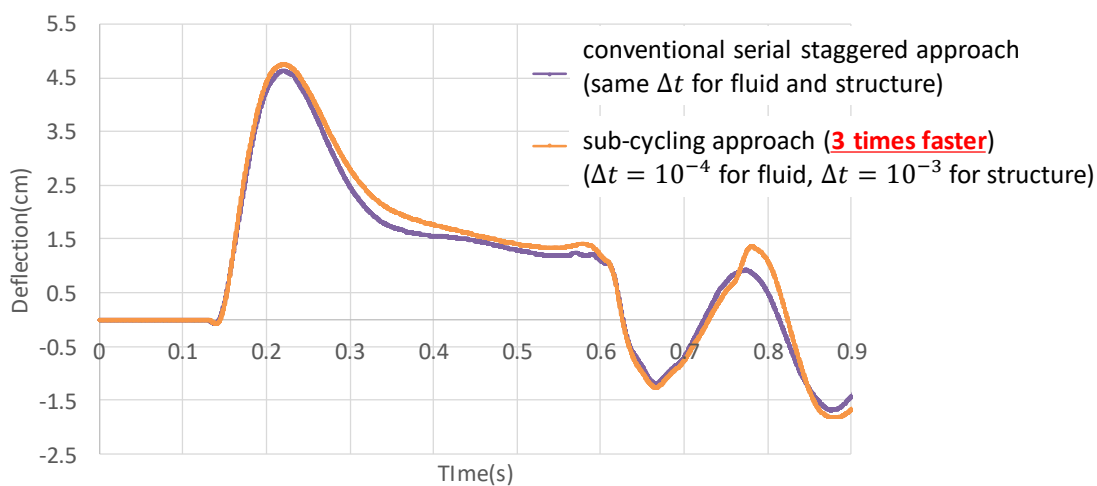


図5 サブサイクル法有無による計算結果の比較

4 本研究が実社会にどう活かされるか一展望

本研究の成果物として、自由表面を有する流体と構造物変形の相互作用を考慮可能な3次元流体構造連成解析システムがある。これにより、地震等を起因とする津波によって沿岸構造物が受ける被害予測を行う仮想実験環境が整備され、地震による構造物の被害予測までを組み込むことで、沿岸地域に存在する津波避難ビルや橋梁など重要構造物の健全性評価という課題解決につながることを期待される。特に、津波遡上解析並びに構造解析ともに高解像度な計算機シミュレーションシステムであることから、構造物に作用する津波の流体力を直接評価できるようになり、信頼性の高い次世代型防災技術の発展に貢献する可能性がある。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者の専門分野は、主として固体力学分野及び電磁気学分野の数値解析、高性能計算、超並列計算等である。本補助事業では、これまでの研究で培ってきた技術を応用し、数値流体力学の高性能化、粒子・格子連成スキームによる流体構造連成への挑戦を含む研究課題に取り組んだ。また本事業は、名古屋大学大学院情報科学研究科での教育活動にも関わっており、教育への貢献も大きいものであった。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【発表論文等】

(1) 原著論文発表 (国際 (欧文) 2誌2件)

- ① Ogino, M., Iwama, T., Asai, M., Development of an ISPH-FEM Weak Coupling Analysis System for 3-dimensional Fluid-Structure Interaction Problems, Theor. Appl. Mech. Japan, No. 64, (accepted)
- ② Ogino, M., Iwama, T., Asai, M., Development of a partitioned coupling analysis system for fluid-structure interactions using an in-house ISPH code and the ADVENTURE system, Int. J. Comput. Mech., 2018. (DOI: 10.1142/S0219876218430090)

【学会発表】

- ① Ogino, M., Iwama, T., Asai, M., A Partitioned Coupling Analysis of FEM and SPH for Large-Scale Fluid-Structure Interaction Problems, SIAM PP18, 2018, 早稲田大学.
- ② 岩間拓也, 荻野正雄, 浅井光輝, ADVENTURE-REVOCAP_Coupler-ISPH による流体構造連成解析, オープンCAEシンポジウム2018, 2017, 名古屋大学.
- ③ Ogino, M., Asai, M., Iwama, T., A study on parallel fluid-structure interaction simulations using a SPH code and the ADVENTURE through REVOCAP_Coupler, COMPSAFE2017, 2017, 中国・成都.
- ④ 岩間拓也, 荻野正雄, 浅井光輝, 粒子法コードとADVENTUREによるREVOCAP_Couplerを

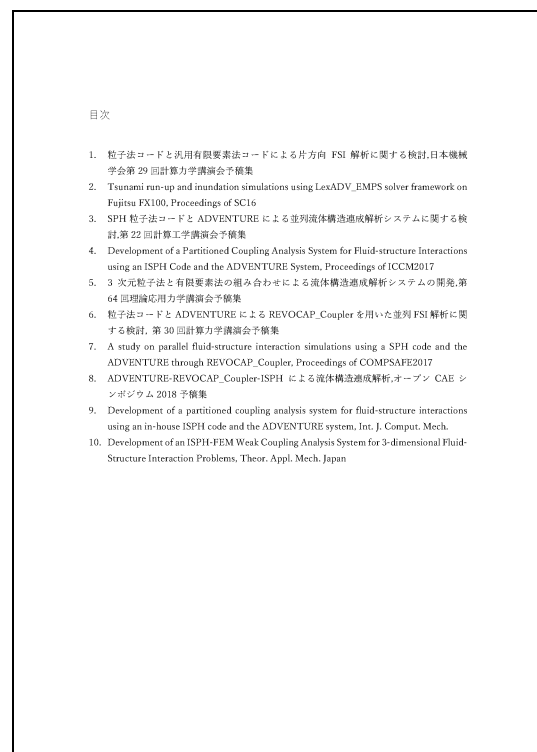
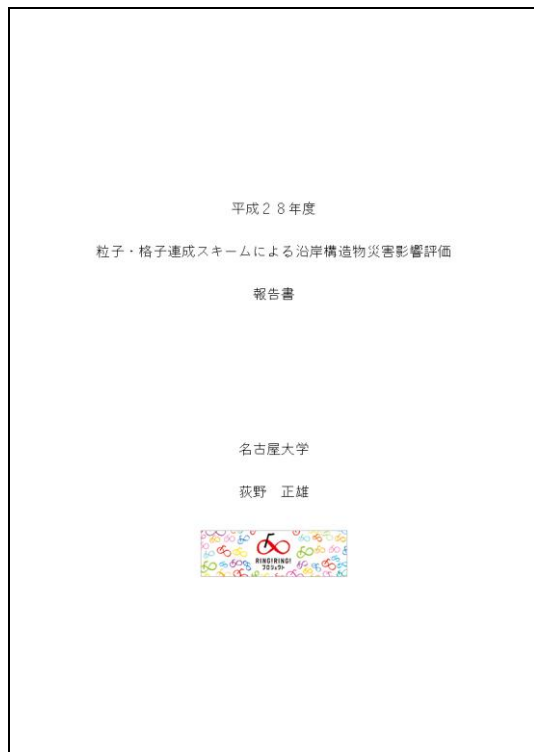
用いた並列FSI解析に関する検討, 第30回計算力学講演会, 2017, 近畿大学.

- ⑤ 荻野正雄, 岩間拓也, 浅井光輝, 3次元粒子法と有限要素法の組み合わせによる流体構造連成解析システムの開発, 第64回理論応用力学講演会, 2017, 機械振興会館.
- ⑥ Ogino, M., Iwama, T., Asai, M., Development of a Partitioned Coupling Analysis System for Fluid-structure Interactions using an ISPH Code and the ADVENTURE System, ICCM2017, 2017, 中国・桂林.
- ⑦ 岩間拓也, 荻野正雄, 浅井光輝, 鍋倉昌博, SPH粒子法コードとADVENTUREによる並列流体構造連成解析システムに関する検討, 第22回計算工学講演会, 2017, 埼玉ソニックシティ.
- ⑧ Ogino, M., Zheng, H., Murotani, K., Koshizuka, S., Shioya, R., Liu, L., Tsunami run-up and inundation simulations using LexADV_EMPS solver framework on Fujitsu FX100, SC16, 2016, 米国・ソルトレイクシティ.
- ⑨ 岩間拓也, 荻野正雄, 浅井光輝, 粒子法コードと汎用有限要素法コードによる片方向FSI解析に関する検討, 日本機械学会第29回計算力学講演会, 2016, 名古屋大学.

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

粒子・格子連成スキームによる沿岸構造物災害影響評価報告書



(2)(1) 以外で当事業において作成したもの
なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：名古屋大学情報基盤センター

(ナゴヤダイガクジョウホウキバンセンター)

住 所：〒464-8601

愛知県名古屋市千種区不老町

申 請 者：准教授 荻野 正雄 (オギノ マサオ)

担 当 部 署：大規模計算支援環境研究部門

(ダイキボケイサンシエンカンキョウケンキュウブモン)

E - m a i l : masao.ogino@cc.nagoya-u.ac.jp

U R L : <http://www.hpc.itc.nagoya-u.ac.jp/ogino/>